

(11)Publication number : 2002-277394
(43)Date of publication of application : 25.09.2002

(51)Int.Cl.

G01N 21/35
G01J 3/42
G01N 21/27
H01L 27/105
H01L 21/8247
H01L 29/788
H01L 29/792

(21)Application number : 2001-074938

(71)Applicant : TAKEDA MITSUO

(22)Date of filing : 15.03.2001

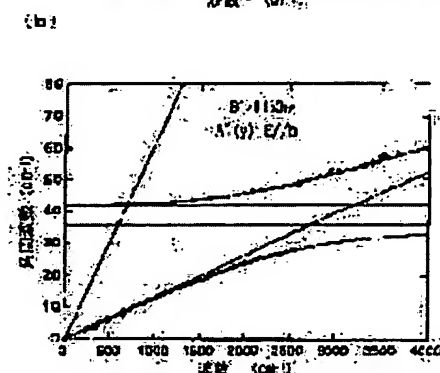
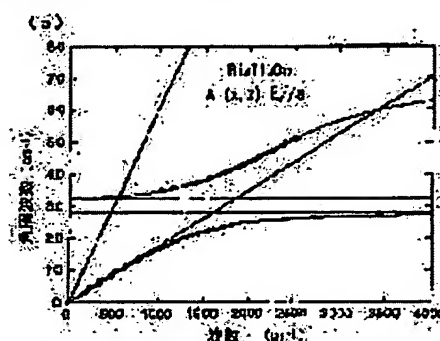
(72)Inventor : TAKEDA MITSUO
KOJIMA SEIJI
NISHIZAWA SEIJI

(54) METHOD FOR OPTICAL MEASUREMENT OF OPTICAL PHYSICAL PROPERTY CONSTANT OF DIELECTRIC SUBSTANCE, INSTRUMENT THEREFOR, AND MANUFACTURING SYSTEM WITH THE INSTRUMENT ASSEMBLED THEREIN

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a dispersion relation of polaritons in a dielectric substance using a THz-TDS, and a dielectric constant of the dielectric substance using the dispersion relation.

SOLUTION: A time waveform of electric field intensity of a reflected electromagnetic wave or transmitted electromagnetic wave from the dielectric substance is Fourier-transformed by the THz-TDS to obtain spectral data about amplitude and phase, the obtained dispersed spectral data about the amplitude and the phase are compared with spectral data when no dielectric substance exists, to find the phase shift by the dielectric substance for each frequency, and a wave number of the composite wave of the pulsed electromagnetic wave incident on the dielectric substance and the wave motion in the polarized field inside the dielectric substance are found for each frequency based on the phase shift, so as to obtain a dispersion curve of the composite wave.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 08.03.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-277394

(P2002-277394A)

(43) 公開日 平成14年9月25日 (2002.9.25)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト* (参考)
G 0 1 N 21/35		G 0 1 N 21/35	Z 2 G 0 2 0
G 0 1 J 3/42		G 0 1 J 3/42	U 2 G 0 5 9
G 0 1 N 21/27		G 0 1 N 21/27	Z 5 F 0 8 3
H 0 1 L 27/105		H 0 1 L 27/10	4 4 4 A 5 F 1 0 1
21/8247			4 4 4 C
審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 14 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2001-74938(P2001-74938)

(22) 出願日 平成13年3月15日 (2001.3.15)

(71) 出願人 501105130

武田 三男

長野県南安曇郡穂高町大字穂高6476番地

(72) 発明者 武田 三男

長野県南安曇郡穂高町大字穂高6476番地

(72) 発明者 小島 誠治

茨城県土浦市右羽11-3

(72) 発明者 西澤 誠治

東京都羽村市小作台2-15-4

(74) 代理人 100112737

弁理士 藤田 考晴 (外2名)

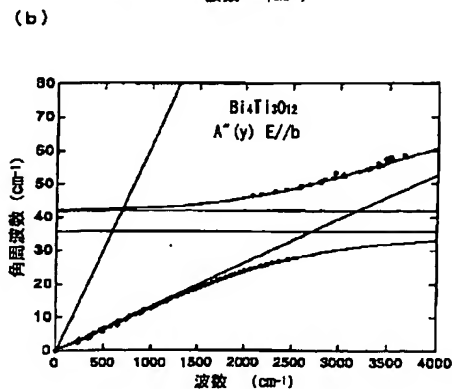
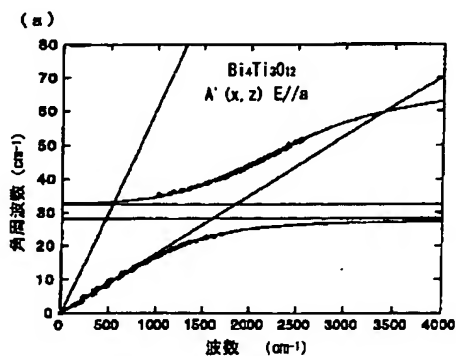
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法及びその装置並びにその装置を組み込んだ製造システム

(57) 【要約】

【課題】 THz-TDSを利用して、誘電体物質のポラリトンの分散関係及びその分散関係を用いて誘電体物質の誘電率を得ることができる誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法及びその装置を提供することである。

【解決手段】 THz-TDSによって誘電体物質からの反射電磁波又は透過電磁波の電場強度の時間波形をフーリエ変換することによって振幅及び位相についての分光スペクトルデータを得て、得られた振幅及び位相についての分光スペクトルデータを前記誘電体物質がない場合の分光スペクトルデータと比較して各周波数毎に前記誘電体物質による位相シフトを求め、その位相シフトから前記誘電体物質に入射されたパルス電磁波の波動と前記誘電体物質内の分極場の波動との連成波の波数を各周波数毎に求めることによってその連成波の分散曲線を得ることを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 テラヘルツ域の周波数範囲を含む連続スペクトル分布を有するパルス電磁波を誘電体物質に入射し、その反射電磁波又は透過電磁波の電場強度の時間波形を測定し、その電場強度の時間波形をフーリエ変換することによって振幅及び位相についての分光スペクトルデータを得て、得られた振幅及び位相についての分光スペクトルデータを前記誘電体物質がない場合の分光スペクトルデータと比較して各周波数毎に前記誘電体物質による位相シフトを求め、その位相シフトから前記誘電体物質に入射されたパルス電磁波の波動と前記誘電体物質内の分極場の波動との連成波の波数を各周波数毎に求めることによってその連成波の分散曲線を得る誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法。

【請求項 2】 前記分散曲線から前記誘電体物質の誘電分散を決定する請求項 1 に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法。

【請求項 3】 前記分散曲線から前記誘電体物質の静的誘電率を決定する請求項 1 に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法。

【請求項 4】 前記分極場がフォノンとされた請求項 1 から請求項 3 のいずれかに記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法。

【請求項 5】 所定の時間幅のパルス励起光を所定の周波数で発生する励起源と、前記励起源からのパルス励起光が照射されると、テラヘルツ域の周波数範囲を含む連続スペクトル分布を有するパルス電磁波を放射し、測定する誘電体物質に照射するパルス電磁波放射素子と、

前記誘電体物質からの反射電磁波又は透過電磁波の電場の各時間分解信号を検出する検出手段と、

その時各時間分解信号から時系列データを得、該時系列データをフーリエ変換処理することによって前記の反射電磁波又は透過電磁波の振幅及び位相についての分光スペクトルデータを得る信号処理手段と、

前記パルス励起光が前記パルス電磁波放射素子に一回入射すること、前記検出手段からの所定の時間分解信号の取り込みを指示するためのサンプリングパルスを、該パルス励起光に対し所定の時間間隔づつ遅延させて前記検出手段に供給する遅延手段と、を備えた光物性定数の光学的測定装置において、

さらに、前記の反射電磁波又は透過電磁波の振幅及び位相についての分光スペクトルデータを前記誘電体物質がない場合の分光スペクトルデータと比較して各周波数毎に前記誘電体物質による位相シフトを決定する位相シフト決定手段と、

その位相シフトから前記誘電体物質に入射されたパルス電磁波の波動と前記誘電体物質内の分極場の波動との連成波の波数を各周波数毎に決定する波数決定手段と、その波数決定手段によって得られた連成波の波数と周波

数との分散曲線を得る分散曲線作成手段と、を備えたことを特徴とする誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置。

【請求項 6】 前記分散曲線作成手段によって得られた分散曲線から前記誘電体物質の誘電率を決定する誘電率決定手段を備えたことを特徴とする請求項 5 に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置。

【請求項 7】 前記誘電体物質を構成要素とする電子素子の製造プロセスの工程中に前記誘電体物質の誘電率を自動測定するために用いる請求項 6 に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置。

【請求項 8】 前記電子素子が強誘電体メモリである請求項 7 に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置。

【請求項 9】 前記電子素子が強誘電体電界効果トランジスタである請求項 7 に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置。

【請求項 10】 前記電子素子が弾性表面波フィルタである請求項 7 に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置。

【請求項 11】 前記電子素子が誘電体セラミックフィルタである請求項 7 に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置。

【請求項 12】 前記電子素子が積層セラミックコンデンサである請求項 7 に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置。

【請求項 13】 請求項 7 に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置を組み込んだことを特徴とする誘電体物質を構成要素とする電子素子の製造プロセスシステム。

【請求項 14】 前記電子素子が強誘電体メモリである請求項 13 に記載の電子素子の製造プロセスシステム。

【請求項 15】 前記電子素子が強誘電体電界効果トランジスタである請求項 13 に記載の電子素子の製造プロセスシステム。

【請求項 16】 前記電子素子が弾性表面波フィルタである請求項 13 に記載の電子素子の製造プロセスシステム。

【請求項 17】 前記電子素子が誘電体セラミックフィルタである請求項 13 に記載の電子素子の製造プロセスシステム。

【請求項 18】 前記電子素子が積層セラミックコンデンサである請求項 13 に記載の電子素子の製造プロセスシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法及びその装置並びにその装置を組み込んだ製造システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、強誘電体薄膜を用いた機能性電子素子、特に強誘電体メモリ（F e R A M : Ferroelectric Random Access Memory）を代表とする半導体メモリ素子の実用化研究が精力的に行われている。

【0003】前記F e R A Mは、強誘電体の分極状態のスイッチング現象を利用したメモリ素子であり、従来困難であった高速動作と不揮発性とは同時に達成できることに加え、低電圧駆動も可能とされている。従って、携帯電話、パソコン、ICカード等の小型化・モバイル化に有効なメモリとして期待されている。

【0004】ところで、上記電子素子を構成する強誘電体薄膜の物性のうち特にその誘電率は、素子の性能（メモリ素子の場合、そのメモリ性能）を左右する重要な基本物性のうちの一つである。そのため、実際の素子の製造においては、形成された強誘電体薄膜の誘電率を何らかの手段で評価・検査することは必要不可欠な工程である。

【0005】誘電率は、誘電体に入射した光（電磁波）に関する誘電体の応答の仕方を示す量であり、その光の周波数に依存する量であるが、強誘電体薄膜を用いた電子素子においては、低周波数の誘電率、特にその低周波数極限である周波数0に対する誘電率（静的誘電率）が重要である。

【0006】この静的誘電率は、理論的にはポラリトンの波数-周波数分散曲線において、周波数0における接線から得ることができる。ここで、ポラリトンとは、誘電体に電磁波を入射した場合、その電磁波の波動と誘電体の分極場の波動とが結合して連成波（結合波）を発生することが知られているが、この連成波を量子化したものである。

【0007】以下に、ポラリトン（あるいは連成波）の波数-周波数分散曲線から静的誘電率を決定する原理について概説する。電磁波と結合する誘電体の分極場が特にフォノン場である場合には、前記ポラリトンは特にフォノンポラリトンという。以下に示すのはフォノンポラリトンであるが、原理的には他のポラリトンについても同様の手法で波数-周波数分散関係から静的誘電率を求めることができる。例えば励起子ポラリトンの場合はその重心運動が無視できなくなるので、波数-周波数分散関係においてその重心運動を考慮して、静的誘電率を求めることができる。

【0008】フォノンポラリトンの波数-周波数分散関係は、通常、

【数1】

$$k(\omega) = \frac{\omega}{C} \sqrt{\varepsilon(\infty)} \left(\frac{\omega_L^2 - \omega^2}{\omega_T^2 - \omega^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

と表され、横軸に波数ベクトル、縦軸に角周波数をとる

と図1において実線で示すような曲線のグラフとなる。ここで、 k は連成波の波数、 ω は連成波の角周波数、 c は光速、 $\varepsilon(\infty)$ は角周波数無限大に対する誘電率、 ω_L は光学縦波フォノンの角周波数、 ω_T は光学横波フォノンの角周波数である。

【0009】低周波数 $\omega < \omega_L, \omega_T$ の場合には、上式は

【数2】

$$k(\omega) = \frac{\sqrt{\varepsilon(\infty)}}{C} \omega \left(\frac{\omega_L}{\omega_T} \right)$$

となる。また、振動子が複数ある場合には、

【数3】

$$k(\omega) = \frac{\sqrt{\varepsilon(\infty)}}{C} \omega \prod_j \left[\frac{\omega_L^2 - \omega^2}{\omega_j^2 - \omega^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

となる。以下、振動子が単数の場合について説明する。

【0010】ここで、リデイン-ザックス-テラー（Lyddane-Sachs-Teller）の関係式

【数4】

$$\frac{\varepsilon(0)}{\varepsilon(\infty)} = \left(\frac{\omega_L}{\omega_T} \right)^2$$

を用いると、

【数5】

$$k(\omega) = \frac{\omega}{C} \sqrt{\varepsilon(0)}$$

を得る。ここで、 $\omega(0)$ は静的誘電率である。

【0011】低周波数では、ポラリトンの波数 k と連成波の角周波数 ω とは比例関係を有する。つまり、静的誘電率 $\omega(0)$ が $\omega=0$ における接線の傾きと評価できることを示している。

【0012】従って、誘電体に入射された光（電磁波）の波動と誘電体物質内の分極場の波動との連成波あるいはポラリトンの波数-周波数分散関係を何らかの測定手段によって評価することができれば、誘電体物質の静的誘電率を求めることができる。

【0013】一方、近年、テラヘルツ（THz）近傍の電磁波に対する誘電体物質の応答を測定する方法として、THz-TDS（Time Domain Spectroscopy）と称される新しいタイプの赤外分光装置が開発された。以下に、このTHz-TDSの原理の概略を説明する。

【0014】励起源から所定の時間幅のパルス励起光を所定の周波数で発生して、パルス電磁波放射素子に照射する。パルス励起光が照射されたパルス電磁波放射素子は、テラヘルツ域の周波数範囲を含む連続スペクトル分布を有するパルス電磁波を放射するが、この放射パルス電磁波を集束して測定する試料に入射する。そして、検

出手段によって試料からの反射電磁波又は透過電磁波の電場強度の各時間分解信号を検出する。ここで、各時間分解信号の検出は、パルス励起光がパルス電磁波放射素子に一回入射すること、遅延手段によって、パルス励起光に対し所定の時間間隔づつ遅延させて行うように構成されている。こうして前記各時間分解信号から時系列データ、すなわち、反射電磁波又は透過電磁波の電場強度の時間波形を得る。この時間波形をフーリエ変換処理し、試料を挿入しない場合とを比較することにより、テラヘルツ電磁波領域を含む広い周波数にわたる反射電磁波又は透過電磁波の強度の透過率・位相シフトについての分光スペクトルを得る。

【0015】また、THz-TDSによって、複素屈折率の実部（通常の屈折率）及び虚部（吸収定数）や複素誘電率の実部（通常の誘電率）及び虚部（誘電損失）の計測も可能である。

【0016】本発明に係る発明者は、この新しいタイプの赤外分光装置であるTHz-TDSが非常に短い時間幅の試料からの透過電磁波又は反射電磁波の電場強度の時系列分布（時間波形）を得ることができる能力に注目し、鋭意検討の結果、THz-TDSの主要部を利用して、誘電体物質の誘電率（誘電定数及び誘電損失）を評価することが可能であることに想到したものである。すなわち、従来の赤外分光装置は、試料からの透過光又は反射光の強度（あるいは強度の透過率）の分光スペクトルデータを得ることはできたが強度の位相についての分光スペクトルデータを得ることはできなかったのに対して、THz-TDSでは試料からの透過電磁波又は反射電磁波の強度の分光スペクトルデータだけでなく電場の振幅とその位相についての分光スペクトルデータを得ることができることに注目した。そして、誘電体物質試料からの透過電磁波又は反射電磁波の電場の振幅及び位相についての分光スペクトルデータを誘電体物質試料がない場合の分光スペクトルデータと比較して各周波数毎に前記誘電体物質による位相シフトを求め、その位相シフトから誘電体物質に入射されたパルス電磁波の波動と誘電体物質内の分極場の波動との連成波（結合波）の波数を各周波数毎に求めることによってその連成波（あるいはボラリトン）の分散関係を得ること、さらにその分散関係から誘電体物質の誘電分散及び静的誘電率を決定することに想到したのである。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上述した事情に鑑みてなされたもので、THz-TDSの原理を利用して、誘電体物質に入射されたパルス電磁波の波動と誘電体物質内の分極場の波動との連成波の波数を各周波数毎に求めることによってその連成波（あるいはボラリトン）の分散関係を得ることができる誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法及びその装置を提供することを目的とする。

【0018】さらに、本発明は、THz-TDSの原理を利用して、誘電体物質に入射されたパルス電磁波の波動と誘電体物質内の分極場の波動との連成波の波数を各周波数毎に求めることによってその連成波（あるいはボラリトン）の分散関係を得、その分散関係から誘電体物質の誘電分散・静的誘電率（誘電定数及び誘電損失）を決定することができる誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法及びその装置を提供することを目的とする。

【0019】また、本発明は、強誘電体メモリ及び強誘電体電界効果トランジスタ（MFISFET: Metal-Ferroelectric-Insulator-Semiconductor FET）を含む誘電体物質を構成要素とする電子素子の製造プロセスの工程中に当該電子素子の構成要素である誘電体物質の誘電率（誘電定数及び誘電損失）を自動測定するために用いるTHz-TDSの原理を利用した誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置を提供することを目的とする。

【0020】また、誘電体物質の誘電率を自動測定できるTHz-TDSの原理を利用した誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置を組み込んだ強誘電体メモリ、強誘電体電界効果トランジスタ、弾性表面波フィルタ、誘電体セラミックフィルタ、及び積層セラミックコンデンサを含む電子素子の製造プロセスシステムを提供することを目的とする。

【0021】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するための本発明は、以下の構成を採用した。請求項1に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法は、テラヘルツ域の周波数範囲を含む連続スペクトル分布を有するパルス電磁波を誘電体物質に入射し、その反射電磁波又は透過電磁波の電場強度の時間波形を測定し、その電場強度の時間波形をフーリエ変換することによって振幅及び位相についての分光スペクトルデータを得て、得られた振幅及び位相についての分光スペクトルデータを前記誘電体物質がない場合の分光スペクトルデータと比較して各周波数毎に前記誘電体物質による位相シフトを求め、その位相シフトから前記誘電体物質に入射されたパルス電磁波の波動と前記誘電体物質内の分極場の波動との連成波の波数を各周波数毎に求めることによってその連成波の分散曲線を得ることを特徴とする。

【0022】請求項2に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法は、請求項1に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法において、前記分散曲線から前記誘電体物質の誘電分散を決定することを特徴とする。

【0023】請求項1及び請求項2に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法によれば、以下のような作用効果を得る。誘電体物質に入射されたパルス電磁波の波動と前記誘電体物質内の分極場の波動との連成波の波数と周波数との分散曲線から、誘電体物質についてその基本物性である電磁波（電場）による誘電分極の特性

についての情報を知得することができる。FeRAM、MFIS-FET、高誘電率薄膜キャパシタ（超高集積DRAM）等の不揮発メモリ素子に使われている強誘電体薄膜の複素誘電分散（誘電定数分散と誘電損失分散）及び静的誘電率（誘電定数と誘電損失）を決定することができる。テラヘルツ帯弾性表面波フィルタの複素誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができる。積層セラミックコンデンサなどの機能性セラミック素子中の誘電体物質の複素誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができる。共振型誘電セラミックフィルタの複素誘電定数及び誘電損失分散を決定することができる。超音波センサ（PZT）素子に使われている圧電物質の複素誘電定数及び誘電損失分散を決定することができる。焦電式赤外センサ素子に使われている強誘電体物質の誘電定数及び誘電損失分散を決定することができる。エレクトロルミネセンス素子に積層された複素誘電体薄膜の複素誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができる。測定は、全て非接触、in-situ、オンラインで精密自動で行うことができる。

【0024】請求項3に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法は、請求項1に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法において、前記分散曲線から前記誘電体物質の静的誘電率（誘電定数と誘電損失）を決定することを特徴とする。

【0025】この誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法によれば、以下のような作用効果を得る。FeRAM、MFIS-FET、高誘電率薄膜キャパシタ（超高集積DRAM）等の不揮発メモリ素子に使われている強誘電体薄膜の複素誘電分散（誘電定数分散と誘電損失分散）及び静的誘電率（誘電定数と誘電損失）を決定することができる。テラヘルツ帯弾性表面波フィルタの複素誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができる。積層セラミックコンデンサなどの機能性セラミック素子中の誘電体物質の複素誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができる。共振型誘電セラミックフィルタの複素誘電定数及び誘電損失分散を決定することができる。超音波センサ（PZT）素子に使われている圧電物質の複素誘電定数及び誘電損失分散を決定することができる。焦電式赤外センサ素子に使われている強誘電体物質の誘電定数及び誘電損失分散を決定することができる。エレクトロルミネセンス素子に積層された複素誘電体薄膜の複素誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができる。電気光学素子に使われている電気光学結晶のフォノンポラリトン分散曲線の決定及びフォノンポラリトン緩和定数を決定することができる。測定は、全て非接触、in-situ、オンラインで精密自動で行うことができる。

【0026】請求項4に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法は、請求項1又は請求項2に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法において、前記

分極場がフォノンとされたことを特徴とする。

【0027】この誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法によれば、以下のような作用効果を得る。FeRAM、MFIS-FET、高誘電率薄膜キャパシタ（超高集積DRAM）等の不揮発メモリ素子に使われている強誘電体薄膜の複素誘電分散（誘電定数分散と誘電損失分散）及び静的誘電率（誘電定数と誘電損失）を決定することができる。電気光学素子に使われている電気光学結晶のフォノンポラリトン分散曲線の決定及びフォノンポラリトン緩和定数を決定することができる。強誘電体ゲートFETに使われている強誘電体薄膜の複素誘電定数及び誘電損失の分散並びに静的誘電定数及び誘電損失を決定することができる。

【0028】請求項5に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置は、所定の時間幅のパルス励起光を所定の周波数で発生する励起源と、前記励起源からのパルス励起光が照射されると、テラヘルツ域の周波数範囲を含む連続スペクトル分布を有するパルス電磁波を放射し、測定する誘電体物質に照射するパルス電磁波放射素子と、前記誘電体物質からの反射電磁波又は透過電磁波の電場振幅の各時間分解信号を検出する検出手段と、その時各時間分解信号から時系列データを得、該時系列データをフーリエ変換処理することによって前記の反射電磁波又は透過電磁波の振幅及び位相についての分光スペクトルデータを得る信号処理手段と、前記パルス励起光が前記パルス電磁波放射素子に一回入射することに、前記検出手段からの所定の時間分解信号の取り込みを指示するためのサンプリングパルスを、該パルス励起光に対し所定の時間間隔ずつ遅延させて前記検出手段に供給する遅延手段と、を備えた光物性定数の光学的測定装置において、さらに、前記の反射電磁波又は透過電磁波の振幅及び位相についての分光スペクトルデータを前記誘電体物質がない場合の分光スペクトルデータと比較して各周波数毎に前記誘電体物質による位相シフトを決定する位相シフト決定手段と、その位相シフトから前記誘電体物質に入射されたパルス電磁波の波動と前記誘電体物質内の分極場の波動との連成波の波数を各周波数毎に決定する波数決定手段と、その波数決定手段によって得られた連成波の波数と周波数との分散曲線を得る分散曲線作成手段と、を備えたことを特徴とする。

【0029】この誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置によれば、以下のような作用効果を得る。誘電体物質に入射されたパルス電磁波の波動と前記誘電体物質内の分極場の波動との連成波の波数と周波数との分散曲線から、誘電体物質についてその基本物性である光（電場）による誘電分極の特性について知得することができる。また、励起源とパルス電磁波放射素子と検出手段と信号処理手段と遅延手段とを含むTHz-TDS部によって、複素屈折率の実部（通常の屈折率）及び虚部（吸収定数）や複素誘電率の実部（通常の誘電率）及び虚部

(誘電損失)の高精度な計測も可能である。従って、それら複素屈折率と複素誘電率と前記分散曲線とから、誘電体物質の光物性の特性について広範な知見を得ることができる。FeRAM、MFIS-FET、高誘電率薄膜キャパシタ(超高集積DRAM)等の不揮発メモリ素子に使用されている強誘電体薄膜の複素誘電分散(誘電定数分散と誘電損失分散)及び静的誘電率(誘電定数と誘電損失)を決定することができる。テラヘルツ帯弾性表面波フィルタの複素誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができる。積層セラミックコンデンサなどの機能性セラミック素子中の誘電体物質の複素誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができる。共振型誘電セラミックフィルタの複素誘電定数及び誘電損失分散を決定することができる。超音波センサ(PZT)素子に使用されている圧電物質の複素誘電定数及び誘電損失分散を決定することができる。焦電式赤外センサ素子に使用されている強誘電体物質の誘電定数及び誘電損失分散を決定することができる。電気光学素子に使用されている電気光学結晶のフォノンポラリトン分散曲線の決定及びフォノンポラリトン緩和定数を決定することができる。エレクトロルミネセンス素子に積層された複素誘電体薄膜の複素誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができる。測定は、全て非接触、in-situ、オンラインで精密自動で行うことができる。

【0030】請求項6に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置は、請求項5に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置において、さらに、前記分散曲線作成手段から得られた分散曲線から前記誘電体物質の静的誘電率を含む誘電率を決定する誘電率決定手段を備えたことを特徴とする。

【0031】この誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置によれば、以下のような作用効果を得る。誘電体物質についてその基本物性値である静的誘電率を含む誘電率を知得することができる。FeRAM、MFIS-FET、高誘電率薄膜キャパシタ(超高集積DRAM)等の不揮発メモリ素子に使用されている強誘電体薄膜の複素誘電分散(誘電定数分散と誘電損失分散)及び静的誘電率(誘電定数と誘電損失)を決定することができる。電気光学素子に使用されている電気光学結晶のフォノンポラリトン分散曲線の決定及びフォノンポラリトン緩和定数を決定することができる。強誘電体ゲートFETに使用されている強誘電体薄膜の複素誘電定数及び誘電損失の分散並びに静的誘電定数及び誘電損失を決定することができる。

【0032】請求項7に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置は、請求項6に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置において、前記誘電体物質を構成要素とする電子素子の製造プロセスの工程中に前記誘電体物質の誘電率を自動測定することを特徴とする。

【0033】請求項8に記載の誘電体物質の光物性定数

の光学的測定装置は、請求項7に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置において、前記電子素子が強誘電体メモリであることを特徴とする。

【0034】請求項9に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置は、請求項7に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置において、前記電子素子が強誘電体電界効果トランジスタであることを特徴とする。

【0035】請求項10に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置は、請求項7に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置において、前記電子素子が弾性表面波フィルタであることを特徴とする。

【0036】請求項11に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置は、請求項7に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置において、前記電子素子が誘電体セラミックフィルタであることを特徴とする。

【0037】請求項12に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置は、請求項7に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置において、前記電子素子が積層セラミックコンデンサであることを特徴とする。

【0038】請求項7から請求項12のいずれかに記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置によれば、以下のような作用効果を得る。高精度で誘電体物質の誘電率を決定できるので、電子素子の検査精度が向上する。電子素子の製造ラインから電子素子を取り出してオフラインで誘電率を測定する必要がないので、生産効率が飛躍的に向上する。全ての製品に対して、リアルタイムで誘電率の検査が可能である。FeRAM、MFIS-FET、高誘電率薄膜キャパシタ(超高集積DRAM)等の不揮発メモリ素子に使用されている強誘電体薄膜の複素誘電分散(誘電定数分散と誘電損失分散)及び静的誘電率(誘電定数と誘電損失)を決定することができる。テラヘルツ帯弾性表面波フィルタの誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができる。積層セラミックコンデンサなどの機能性セラミック素子中の誘電体物質の誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができる。共振型誘電セラミックフィルタの誘電定数及び誘電損失分散を決定することができる。強誘電体ゲートFETに使用されている強誘電体薄膜の複素誘電定数及び誘電損失の分散並びに静的誘電定数及び誘電損失を決定することができる。測定は、全て非接触、in-situ、オンラインで精密自動で行うことができる。

【0039】請求項13に記載の誘電体物質を構成要素とする電子素子の製造プロセスシステムは、請求項7に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置を組み込んだことを特徴とする。

【0040】請求項14に記載の電子素子の製造プロセスシステムは、請求項13に記載の電子素子の製造プロセスシステムにおいて、前記電子素子が強誘電体メモリであることを特徴とする。

【0041】請求項15に記載の電子素子の製造プロセ

システムは、請求項 13 に記載の電子素子の製造プロセスシステムにおいて、前記電子素子が強誘電体電界効果トランジスタであることを特徴とする。

【0042】請求項 16 に記載の電子素子の製造プロセスシステムは、請求項 13 に記載の電子素子の製造プロセスシステムにおいて、前記電子素子が弾性表面波フィルタであることを特徴とする。

【0043】請求項 17 に記載の電子素子の製造プロセスシステムは、請求項 13 に記載の電子素子の製造プロセスシステムにおいて、前記電子素子が誘電体セラミックフィルタであることを特徴とする。

【0044】請求項 18 に記載の電子素子の製造プロセスシステムは、請求項 13 に記載の電子素子の製造プロセスシステムにおいて、前記電子素子が積層セラミックコンデンサであることを特徴とする。

【0045】請求項 13 から請求項 18 のいずれかに記載の電子素子の製造プロセスシステムによれば、以下のような作用効果を得る。高精度で誘電体物質の誘電率を決定できるので、電子素子の検査精度が向上する。電子素子の製造ラインから電子素子を取り出してオフラインで誘電率を測定する必要があるないので、生産効率が飛躍的に向上する。全ての製品に対して、リアルタイムで誘電率の検査が可能である。FeRAM、MFIS-FET、高誘電率薄膜キャパシタ（超高集積DRAM）等の不揮発メモリ素子に使われている強誘電体薄膜の複素誘電分散（誘電定数分散と誘電損失分散）及び静的誘電率（誘電定数と誘電損失）を決定することができる。テラヘルツ帯弾性表面波フィルタの複素誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができる。積層セラミックコンデンサなどの機能性セラミック素子中の誘電体物質の複素誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができる。共振型誘電セラミックフィルタの複素誘電定数及び誘電損失分散を決定することができる。強誘電体ゲートFETに使われている強誘電体薄膜の誘電定数及び誘電損失の分散並びに静的誘電定数及び誘電損失を決定することができる。測定は、全て非接触、in situ、オンラインで精密自動で行うことができる。

【0046】

【発明の実施の形態】図 2 に本発明の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置に組み込まれる一般的な THz-TDS の概要を示す。

【0047】符号 1 は励起源であり、例えば、レーザーである。励起源 1 から放射されたフェムト秒レーザー光 L1 は、ビームスプリッタ 2 で分割される。一方のフェムト秒レーザーパルスは、パルス励起光 L1 として光チョッパ 3 により断続的にパルス電磁波放射素子 5 に送られ、対物レンズ 4 で集束されてパルス電磁波放射素子 5 に照射される。このパルス電磁波放射素子 5 は例えば光伝導素子であり、パルス励起光 L1 が照射されたときに瞬間的に電流が流れ、テラヘルツパルス電磁波 L2 を放射す

る。このテラヘルツパルス電磁波 L2 は、放物面鏡 6、7 により平行化され測定試料である誘電体物質 8 に照射される。その試料 8 の透過ないし反射テラヘルツ電磁波（ここでは透過テラヘルツ電磁波）L3 は、放物面鏡 10、11 により集光され、検出器（検出手段）12 に導光される。

【0048】他方のフェムト秒レーザーは、サンプリング・パルス光 L4 として検出器 12 に導光される。この検出器 12 も例えば光伝導素子であり、サンプリング・パルス光 L4 で照射され、その瞬間だけ導電性となり、その瞬間の試料 8 からの透過テラヘルツ電磁波（以下、単に透過電磁波ともいう）L3 の電場の強度を電流として検出することができる。ビームスプリッタ 2 から検出器 12 に到達するまでの時間を遅延手段 13、14 で変えることにより、試料を透過して来た透過電磁波 L3 の時間波形を得ることができる。

【0049】検出用光伝導素子はサンプリング・パルス光 L4 を照射している間の試料からの透過電磁波 L3 の電場による電流を検出するが、サンプリング・パルス光の時間幅は透過電磁波 L3 の時間幅よりも数十分の一程度とかなり短い。すなわち、透過電磁波 L3 の最初の部分から最後の部分までが到達する時間に比較してサンプリング・パルス光 L4 の照射時間は短い。そのため、サンプリング・パルス光 L4 が照射している間の検出用光伝導素子に流れる電流は透過電磁波 L3 の電場のごく短い照射時間部分に依存し、透過電磁波 L3 の電場のうち遅延手段 13、14 による時間遅延によって決められた時間部分のみが電流として測定され、さらに時間遅延をずらしていくことにより透過電磁波 L3 の電場の他の部分も測定でき、透過電磁波 L3 の電場の時間波形を得ることができるのである。

【0050】試料 8 の透過テラヘルツ電磁波の電場強度の各時間分解データは、信号処理手段によって処理される。すなわち、ロックイン・増幅器 16 を介してコンピュータ 17 に伝送され、順次、時系列データに記憶され、一連の時系列データを、該コンピュータ 17 でフーリエ変換処理して振動数（周波数）空間に変換することにより、試料 8 の透過テラヘルツ電磁波の振幅及び位相の分光スペクトルが得られる。

【0051】励起源 1 は、例えばモード同期、エルビウム（Er）ドーピングのファイバレーザである。このモード同期ファイバレーザ 1 は、例えば平均パワー 10 mW、パルス励起光 L1 を、波長 780 nm、時間幅 120 フェムト秒、繰り返し周波数 48.5 MHz で伝送する。

【0052】前記励起源から発生するパルス励起光の時間幅は、6 フェムトから 170 フェムト秒以下に設定する。より好適には、15 フェムト秒から 70 フェムト秒以下である。最も好適には、30 フェムト秒である。

【0053】このとき、モード同期ファイバレーザ 1

で、パルス励起光L1の時間幅を、例えば170フェムト秒に設定すると、該パルス電磁波放射素子5から発生するテラヘルツ放射電磁波L2には、ほぼ波数範囲0～196 cm⁻¹のミリ波から遠赤外波長光が含まれる。また、パルス励起光L1の時間幅を、例えば6フェムト秒に設定すると、該パルス電磁波放射素子5から発生するテラヘルツ放射電磁波L2には、ほぼ波数範囲0～5556 cm⁻¹のミリ波から近赤外波長光が含まれる。

【0054】励起源としては、電子ビーム型発振器、たとえば軌道放射光源(SOR)、光蓄横リング放射光(Pb SR)等を用いることもできる。

【0055】パルス電磁波放射素子5には、例えば、図3に示すように、シリコンレンズ/TL-GaAs基板30に形成されたダイポールアンテナ構造の光伝導スイッチ素子31が用いられる。そして、テラヘルツ放射光L2の発生には、このようなパルス電磁波放射素子5に、パルス励起光L1を照射し、電子・正孔の自由キャリアを誘起させ、超高速電流変調することによって、そのテラヘルツ放射L2を得ている。すなわち、バイアス電流印加のパルス電磁波放射素子5に、パルス励起光L1が照射されると、電場が揺り動かされる。電場が揺り動かされると、電流が揺り動かされることにより、パルス電磁波放射素子5に照射されたパルス励起光L1の時間幅Δtにより規定される振動数(周波数)範囲に渡り、連続スペクトル分布を持ったテラヘルツ放射電磁波L2が得られる。

【0056】また、パルス電磁波放射素子5は、バルクのInAs(100)結晶でもよい。InAs(100)は、結晶の格子面(100)が切り出され、ガリウム砒素(GaAs)に比較し、優れた電磁波の放射性能を持ち、該InAs結晶の格子面(100)に、パルス励起光L1が照射されると、テラヘルツ放射電磁波L2が放射方向の全体にまんべんなく引き起こされる。また、InPやGaAsでもよい。

【0057】さらに、パルス電磁波放射素子5は、電気光学素子でもよいし、非対称二重量子井戸構造や超格子構造を利用したものでもよい。

*

$$E_{\text{透過}}(t)$$

$$= \int \alpha_{n,k}(\sigma) E_0(\sigma) e^{i \left(-2\pi c \sigma \left(t - \frac{t}{c} \right) + \phi_{n,k}(\sigma) + \phi_0(\sigma) \right)} d\sigma$$

【0064】このような強度の時間波形を有する透過光の電場強度E_{透過}(t)は、例えば、パルス電磁波放射素子5と同様の検出器12を用いて、サンプリング・パルス光L4により光伝導ギャップに励起されたキャリア(数: N(t))の流れ(電流)として検出される。

【0065】その電流密度I(t)は、E_{透過}(t)と励起キャリア数N(t)とのコンボリューション、すなわち、

*【0058】図4に、検出器12の概略図を示す。同図に示す検出器12にも、例えば、シリコンレンズ/TL-GaAs基板30に形成されたダイポールアンテナ構造の光伝導スイッチ素子31が用いられる。このような検出器12に、試料透過テラヘルツ電磁波L3とサンプリング・パルス光L4を同時に照射すると、サンプリング・パルス光L4が照射された短時間の試料透過テラヘルツ電磁波L3の強度を測定できる。尚、検出器12は電気光学素子でもよい。

10 【0059】サンプリング・パルス光L4が検出器12に到着する時間を制御しながら測定することにより、試料透過テラヘルツ電磁波L3の強度の各時間分解データを測定できる。

20 【0060】遅延手段13、14は、パルス励起光がパルス電磁波放射素子5に1回入射することにより、検出器12からの所定の時間分解データの取り込みを指示するサンプリングパルスを、前記パルス励起光に対し所定の時間間隔づつ遅延させて検出器12に供給する。遅延手段13、14は、例えば光路差掃引ステージにより時間遅延を制御する。

【0061】次に、上記のようなTHz-TDSを組み込んだ本発明の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置における具体的な信号処理について、図5を参照して説明する。

【0062】パルス電磁波放射素子から放射されたテラヘルツ域の周波数範囲を含む連続スペクトル分布を有するパルス光は、図5(a)に示す以下の数式に示されるような電場強度の時間波形を有する。

【数6】

$$E_{THz}(t) = \int E_0(\sigma) e^{i(-2\pi c \sigma t + \phi_0(\sigma))} d\sigma$$

【0063】このような強度の時間波形を有するパルス光が試料である誘電体物質に入射し透過してくると、その透過電磁波の電場強度の時間波形は、図5(b)に示す以下の数式に示されるようなものとなる。

【数7】

【数8】

$$I(\tau) \propto \int_{-\infty}^{+\infty} E(t) N(t - \tau) dt$$

となる。ここで、前記τはサンプリング・パルス光L4の遅延時間差であり、該遅延時間差τを、コンピュータ17、光路差掃引ステージ13等により走査することによって試料透過(反射)電磁波の電場強度の時間依存性

を電流強度の時間軸信号 $I(\tau)$ として検出する。

【0066】そして、試料透過電磁波 $L3$ の強度は、パルス励起光 $L1$ に同期して、所定の時間 $\Delta\tau$ づつ遅延されたサンプリング・パルス光 $L4$ によって、光学的に極めて短時間隔でサンプリングされ（図5(c)参照）、試料透過電磁波 $L3$ の電場強度の各時間分解信号として検出される。このサンプリング幅 Δt (sec) は、測*

$$I_m(t)$$

$$= \int \alpha'_{n,\kappa}(\sigma) E_0(\sigma) e^{i \left(-2\pi\sigma \left(t - \frac{l}{c} \right) + \phi_{n,\kappa}(\sigma) + \phi_0(\sigma) \right)} d\sigma$$

ここで、 $\alpha'_{n,\kappa}(\sigma)$ (n, κ は複素屈折率の実部（通常の屈折率）と虚部（吸収定数）である）は、各周波数毎の誘電体物質に入射したパルス電磁波の透過率に対応する量であり、また、 $\phi_{n,\kappa}(\sigma)$ は、各周波数毎の誘電体物質に起因した位相シフトである。

【0068】この $I_m(t)$ を信号処理手段に伝送し、フーリエ変換処理することによって透過電磁波（反射電磁波）の振幅及び位相についての分光スペクトルデータを得る。

【0069】次いで、位相シフト決定手段によって、透過電磁波（反射電磁波）の振幅及び位相についての分光スペクトルデータを誘電体物質がない場合の分光スペクトルデータと比較して各周波数毎の位相シフト $\phi_{n,\kappa}(\sigma)$ を決定する。

【0070】さらに、波数決定手段によって、その位相シフトから誘電体物質に入射されたパルス電磁波の波動と誘電体物質内の分極場の波動との連成波（あるいはボラリトン）の波数を各周波数毎に決定する。ここで、連成波の波数は位相シフト $\phi_{n,\kappa}(\sigma)$ と試料の厚さとから決定することができる。

【0071】こうして得られた連成波の周波数毎の波数について、分散曲線作成手段によって横軸に波数、縦軸に周波数（もちろんその逆でも構わない）としてプロットされ、連成波の波数と周波数との分散曲線を得る。

【0072】さらに、誘電率決定手段によって、得られた連成波の波数と周波数との分散曲線から前記誘電体物質の静的誘電率を決定する。

【0073】本発明の誘電体物質の静的誘電率の評価に用いる誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置は、誘電体物質を構成要素とする電子素子、例えば、強誘電体メモリ、強誘電体電界効果トランジスタ、弾性表面波フィルタ、誘電体セラミックフィルタ、及び積層セラミックコンデンサのような製造プロセスの工程中に前記電子素子を構成する誘電体物質の静的誘電率を自動測定するために用いることができる。また、全ての製品に対して、リアルタイムで誘電率の検査が可能である。

【0074】また、本発明の誘電体物質の静的誘電率の評価に用いる誘電体物質の光物性定数の光学的測定装

* 定に要求される測光スペクトルの波数分解能 $\Delta\sigma$ (cm^{-1}) に対して $\Delta t = 1/2\pi\Delta\sigma$ で定められる。

【0067】こうして得られた時各時間分解信号から、図5(d)に示したように、以下の数式で表される時系列データ $I_m(t)$ を得る。

【数9】

置は、誘電体物質を構成要素とする電子素子、例えば、強誘電体メモリ、強誘電体電界効果トランジスタ、弾性表面波フィルタ、誘電体セラミックフィルタ、及び積層セラミックコンデンサのような製造ラインに組み込むこともできる。この場合、電子素子の製造ラインから電子素子を取り出してオフラインで誘電率を測定する必要がないので、生産効率が飛躍的に向上する。また、全ての製品に対して、リアルタイムで誘電率の検査が可能である。

【0075】次に、本発明の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置及びその方法によって誘電分散及び静的誘電率を決定した実施例として、強誘電体 Bi,Ti,O_{12} の場合を示す。

【0076】用いた Bi,Ti,O_{12} の試料は c 軸に対して垂直な面方向に成長させたもので、その寸法は $15 \times 15 \text{ mm}^2$ で膜厚 $225 \mu\text{m}$ の単結晶薄膜である。その Bi,Ti,O_{12} の単結晶薄膜はその面に対して劈開性を有する。

【0077】測定の詳細を以下に説明する。励起源としては、波長 780 nm 、 20 mW の出力のフェムト秒励起パルス光を繰り返し周波数 48 MHz で発生するモード同期エルビウム (Er) ドーピングのファイバレーザを用いた。試料へ入射するパルス測定光を放射するパルス電磁波放射素子として、低温で成長させた GaAs から成る光伝導スイッチ素子を用いた。モード同期エルビウムドーピングファイバレーザからの励起パルスは対物レンズによって光伝導スイッチ素子に合焦した。光伝導スイッチ素子が放射したパルス電磁波は Bi,Ti,O_{12} 単結晶薄膜試料の劈開面へ入射し、その透過電磁波を測定した。透過電磁波の検出器としても低温で成長させた GaAs から成る光伝導スイッチ素子を用いた。サンプリング・パルス光としては、モード同期エルビウムドーピングファイバレーザからの入射励起パルス光をビームスプリッターで分割したパルス光を用い、試料からの透過光の電場信号の検出のゲートの開閉を行った。全ての光学装置及び試料は、水蒸気による吸収を低減するため、真空チャンバに配置した。測定は室温で行った。

【0078】 Bi,Ti,O_{12} は室温で単斜晶系のペロブ

スカイト構造であり、自発分極の方向は、単斜晶軸方向であるa軸に対して約4.5°傾斜している。そのa軸に対して偏光したa軸偏光、そしてその垂直方向であるb軸偏光に対する試料の透過電磁波の電場強度の透過率及び位相シフトの周波数依存性を示す測定結果をそれぞれ、図6(a)及び(b)に示す。黒丸は透過率、白丸は位相シフトを示している。

【0079】図6(a)において、黒丸で示した透過率からは、この物質が22 cm⁻¹から36 cm⁻¹に不透明領域を持つことがわかる。すなわち、A'モードではこの領域にフォノンが存在しないバンドギャップが存在していることを示している。また、白丸の位相シフトは、22 cm⁻¹から36 cm⁻¹のバンドギャップエッジ近傍で急に遅れていくことが分かる。

【0080】図6(b)において、図6(a)と同じように、A''モードでは28 cm⁻¹から43 cm⁻¹の領域にフォノンが存在しないバンドギャップが存在していることを示している。また、28 cm⁻¹から43 cm⁻¹のギャップエッジ近傍ではやはり、位相が急速に遅れることが分かる。

【0081】図7(a)及び(b)はそれぞれ、図6(a)及び(b)で示した各周波数毎の誘電体物質による位相シフトφ_{n,κ}(σ)とBi,Ti,O₁₁単結晶薄膜試料の厚さとから、試料に入射したパルス電磁波の波動と試料内の分極場の波動との連成波の波数を各周波数毎に決定し、横軸に波数、縦軸に周波数としてプロットした、連成波の波数と周波数との分散関係を示している。この分散関係は、試料内の分極場をフォノンした場合の分散曲線によく一致する。この場合、Ω=0における接線の傾きは、c/ε(0)を与えることから(段落【0010】参照)、静的誘電率ε(0)は、図7(a)の場合には79.2、図7(b)の場合には149.0であると決定することができた。

【0082】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明に係る誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法及びその装置並びにその装置を組み込んだ製造システムによれば、以下のような効果を奏する。

【0083】請求項1及び請求項2に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法によれば、誘電体物質に入射されたパルス電磁波の波動と前記誘電体物質内の分極場の波動との連成波の波数と周波数との分散曲線から、誘電体物質についてその基本物性である電磁波(電場)による誘電分極の特性についての情報を知得することができるという効果を奏する。また、FeRAM、MFIS-FET、高誘電率薄膜キャパシタ(超高集積DRAM)等の不揮発メモリ素子に使われている強誘電体薄膜の複素誘電分散(誘電定数分散と誘電損失分散)及び静的誘電率(誘電定数と誘電損失)を決定することができるという効果を奏する。また、テラヘルツ帯弾性表

面波フィルタの複素誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、積層セラミックコンデンサなどの機能性セラミック素子中の誘電体物質の複素誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、共振型誘電セラミックフィルタの複素誘電定数及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、超音波センサ(PZT)素子に使われている圧電物質の複素誘電定数及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、焦電式赤外センサ素子に使われている強誘電体物質の誘電定数及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、エレクトロルミネセンス素子に積層された複素誘電体薄膜の複素誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、測定は、全て非接触、in-situ、オンラインで精密自動で行うことができるという効果を奏する。

【0084】請求項3に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法によれば、FeRAMなどに使われている強誘電体薄膜の誘電分散(誘電定数分散と誘電損失分散)及び静的誘電率(誘電定数と誘電損失)を決定することができるという効果を奏する。また、テラヘルツ帯弾性表面波フィルタの誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、積層セラミックコンデンサなどの機能性セラミック素子中の誘電体物質の誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、共振型誘電セラミックフィルタの誘電定数及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、超音波センサに使われている圧電物質の誘電定数及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、焦電式赤外センサ素子に使われている強誘電体物質の誘電定数及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、電気光学素子に使われている電気光学結晶のフォノンポラリトン分散曲線の決定及びフォノンポラリトン緩和定数を決定することができるという効果を奏する。

【0085】請求項4に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定方法によれば、FeRAMなどに使われている強誘電体薄膜の誘電分散(誘電定数分散と誘電損失分散)及び静的誘電率(誘電定数と誘電損失)を決定することができるという効果を奏する。また、電気光学素子に使われている電気光学結晶のフォノンポラリトン分散曲線の決定及びフォノンポラリトン緩和定数を決定することができるという効果を奏する。また、強誘電体ゲートFETに使われている強誘電体薄膜の誘電定数及び誘電損失の分散並びに静的誘電定数及び誘電損失を決定することができるという効果を奏する。

【0086】請求項5に記載の誘電体物質の光物性定数

の光学的測定装置によれば、誘電体物質に入射されたパルス電磁波の波動と前記誘電体物質内の分極場の波動との連成波の波数と周波数との分散曲線から、誘電体物質についてその基本物性である光（電場）による誘電分極の特性について知得することができるという効果を奏する。また、励起源とパルス電磁波放射素子と検出手段と信号処理手段と遅延手段とを含む THz-TDS 部によって、複素屈折率の実部（通常の屈折率）及び虚部（吸収定数）や複素誘電率の実部（通常の誘電率）及び虚部（誘電損失）の高精度な計測も可能である。従って、それら複素屈折率と複素誘電率と前記分散曲線とから、誘電体物質の光物性の特性について広範な知見を得ることができるという効果を奏する。また、 FeRAM 、 MFIS-FET 、高誘電率薄膜キャパシタ（超高集積 DRAM ）等の不揮発メモリ素子に使われている強誘電体薄膜の複素誘電分散（誘電定数分散と誘電損失分散）及び静的誘電率（誘電定数と誘電損失）を決定することができるという効果を奏する。また、テラヘルツ帯弾性表面波フィルタの複素誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、積層セラミックコンデンサなどの機能性セラミック素子中の誘電体物質の複素誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、共振型誘電セラミックフィルタの複素誘電定数及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、超音波センサ（ PZT ）素子に使われている圧電物質の複素誘電定数及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、電気光学素子に使われている電気光学結晶のフォノンポラリトン分散曲線の決定及びフォノンポラリトン緩和定数を決定することができるという効果を奏する。また、エレクトロルミネセンス素子に積層された複素誘電体薄膜の複素誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、測定は、全て非接触、*in-situ*、オンラインで精密自動で行うことができるという効果を奏する。

【0087】請求項6に記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置によれば、誘電体物質についてその基本物性値である静的誘電率を含む誘電率誘電率を知得することができるという効果を奏する。また、 FeRAM などに使われている強誘電体薄膜の誘電分散（誘電定数分散と誘電損失分散）及び静的誘電率（誘電定数と誘電損失）を決定することができるという効果を奏する。また、電気光学素子に使われている電気光学結晶のフォノンポラリトン分散曲線の決定及びフォノンポラリトン緩和定数を決定することができるという効果を奏する。また、強誘電体ゲート FET に使われている強誘電体薄膜の誘電定数及び誘電損失の分散並びに静的誘電定数及び

誘電損失を決定することができるという効果を奏する。

【0088】請求項7から請求項12のいずれかに記載の誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置によれば、高精度で誘電体物質の誘電率を決定できるので、電子素子の検査精度が向上するという効果を奏する。また、電子素子の製造ラインから電子素子を取り出してオフラインで誘電率を測定する必要がないので、生産効率が飛躍的に向上するという効果を奏する。また、全ての製品に対して、リアルタイムで誘電率の検査が可能であるという効果を奏する。また、 FeRAM などに使われている強誘電体薄膜の誘電分散（誘電定数分散と誘電損失分散）及び静的誘電率（誘電定数と誘電損失）を決定することができるという効果を奏する。また、テラヘルツ帯弾性表面波フィルタの誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、積層セラミックコンデンサなどの機能性セラミック素子中の誘電体物質の誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、共振型誘電セラミックフィルタの誘電定数及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、強誘電体ゲート FET に使われている強誘電体薄膜の誘電定数及び誘電損失の分散並びに静的誘電定数及び誘電損失を決定することができるという効果を奏する。

【0089】請求項13から請求項18のいずれかに記載の電子素子の製造プロセスシステムによれば、高精度で誘電体物質の誘電率を決定できるので、電子素子の検査精度が向上するという効果を奏する。また、電子素子の製造ラインから電子素子を取り出してオフラインで誘電率を測定する必要がないので、生産効率が飛躍的に向上するという効果を奏する。また、全ての製品に対して、リアルタイムで誘電率の検査が可能であるという効果を奏する。また、 FeRAM などに使われている強誘電体薄膜の誘電分散（誘電定数分散と誘電損失分散）及び静的誘電率（誘電定数と誘電損失）を決定することができるという効果を奏する。また、テラヘルツ帯弾性表面波フィルタの誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、積層セラミックコンデンサなどの機能性セラミック素子中の誘電体物質の誘電定数分散及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、共振型誘電セラミックフィルタの誘電定数及び誘電損失分散を決定することができるという効果を奏する。また、強誘電体ゲート FET に使われている強誘電体薄膜の誘電定数及び誘電損失の分散並びに静的誘電定数及び誘電損失を決定することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 ポラリトンの波数-周波数分散関係を示すグラフである。

【図2】 本発明に係る誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置に組み込まれる一般的な THz-TDS の

概略構成図である。

【図3】 本発明に係るパルス電磁波放射素子の一実施形態の概略構成図である。

【図4】 本発明に係る検出器の一実施形態の概略構成図である。

【図5】 本発明に係る誘電体物質の光物性定数の光学的測定装置に組み込まれる一般的なTHz-TDSの信号処理の流れの説明図である。

【図6】 Bi,Ti,O_{11} からの透過電磁波の電場強度の透過率及び位相シフトの周波数依存性を示すグラフであり、(a) a軸偏光の場合、(b) b軸偏光の場合である。

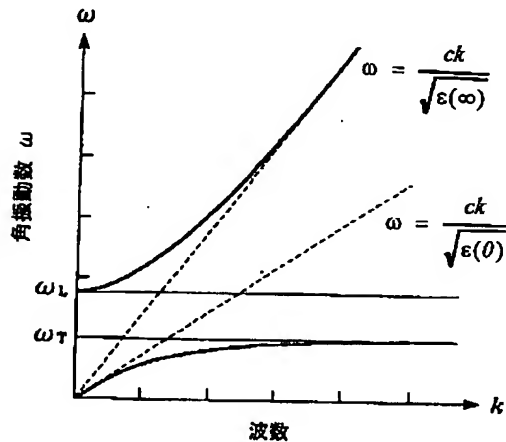
【図7】 (a) 図5(a)の場合の Bi,Ti,O_{11} 内の連成波の波数と周波数との分散曲線を示すグラフである。(b)の Bi,Ti,O_{11} 内の連成波の波数と周波数との分散曲線を示すグラフである。

【符号の説明】

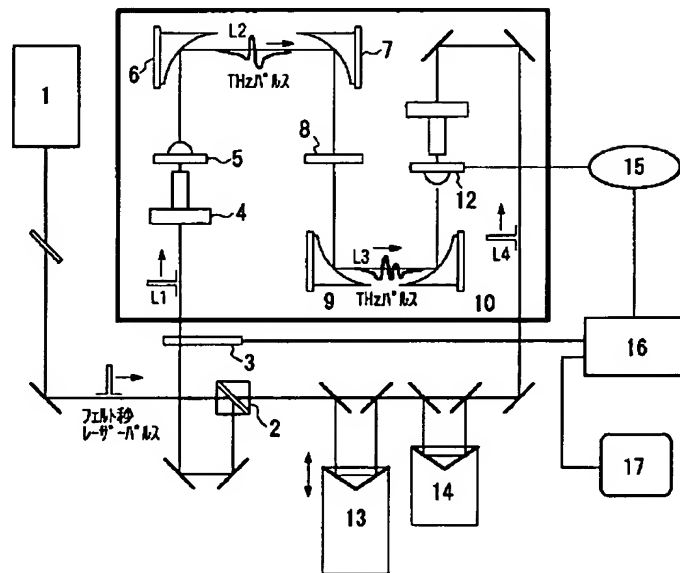
*

- * 1 励起源
- 2 ビームスプリッタ
- 3 光チョッパ
- 4 対物レンズ
- 5 パルス電磁波放射素子
- 6, 7, 9, 10 放物面鏡
- 8 誘電体物質(試料)
- 12 検出手段(検出器)
- 13, 14 遅延手段
- 15 増幅器
- 16 ロックイン増幅器
- 17 コンピュータ
- L1 励起パルス光
- L2 入射テラヘルツパルス電磁波
- L3 透過テラヘルツパルス電磁波
- L4 サンプリング・パルス光

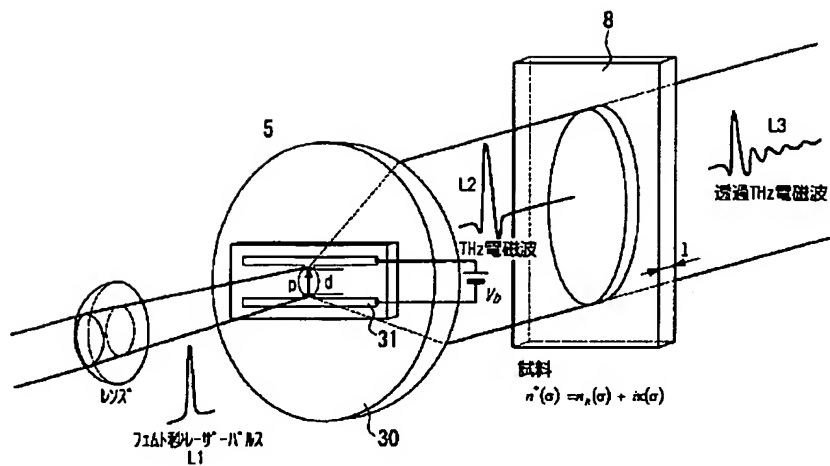
【図1】



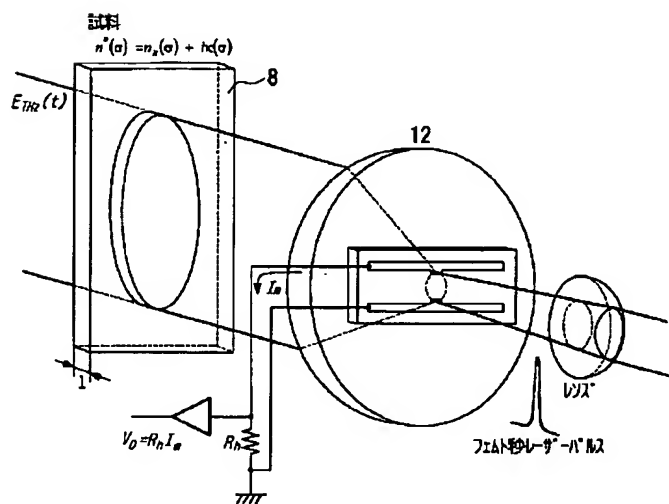
【図2】



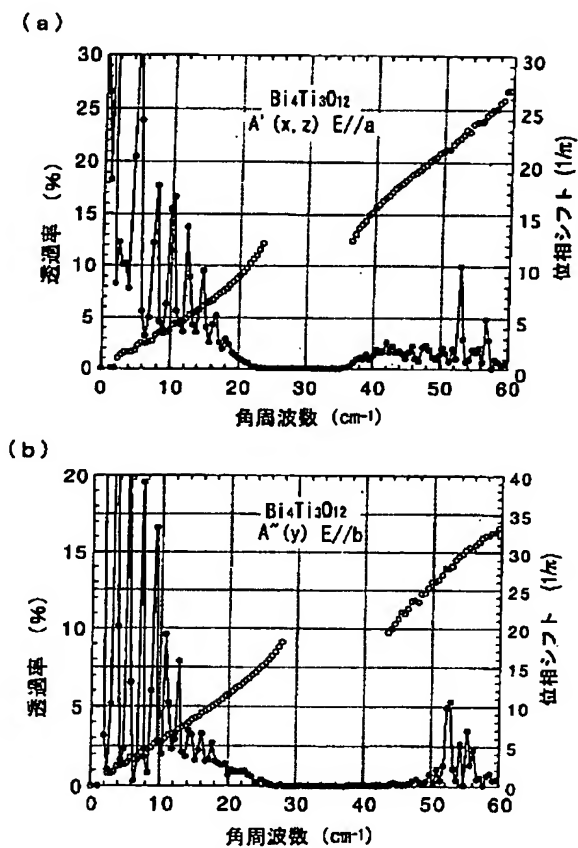
【図3】



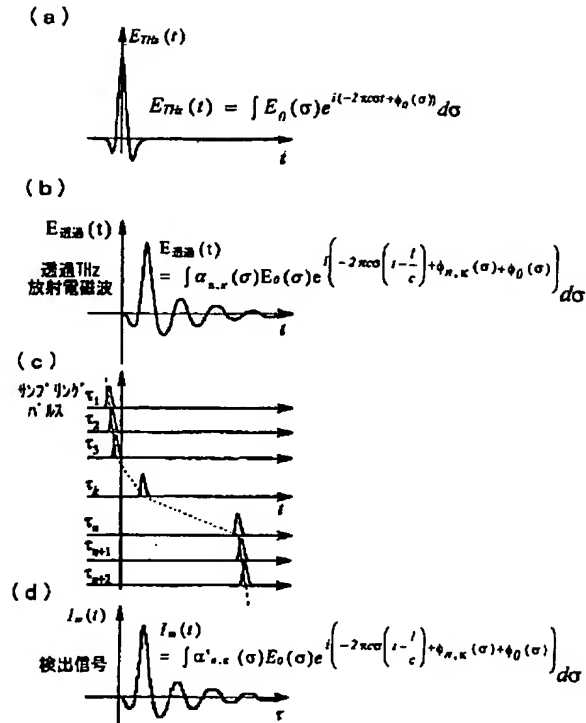
【図4】



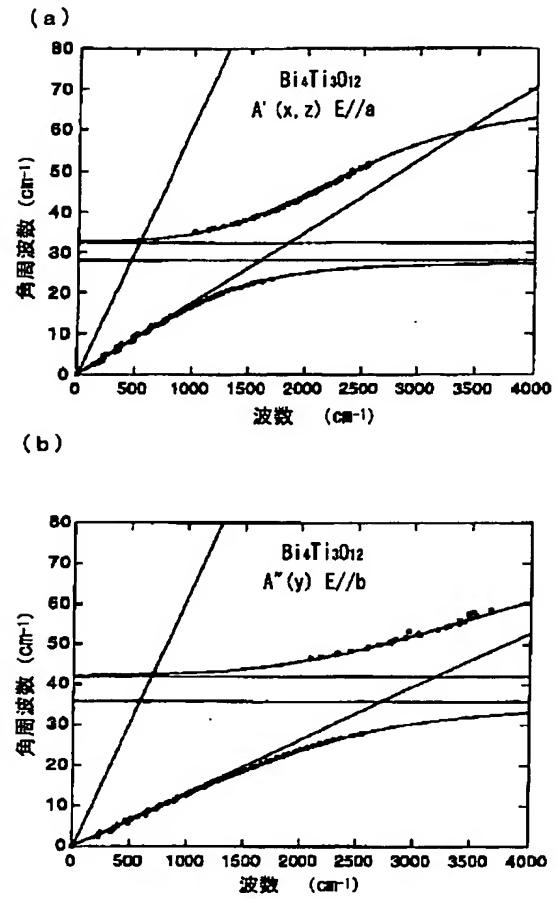
【図6】



【図5】



【図7】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷H01L 29/788
29/792

識別記号

F I

H01L 29/78

テーマコード(参考)

371

Fターム(参考) 2G020 AA03 BA02 CA14 CB23 CB42
CC47 CC48 CD04 CD13 CD35
CD56
2G059 AA02 BB16 EE01 EE02 FF04
GG01 HH01 MM01 MM05
5F083 FR01 FR06 ZA20
5F101 BA62 BH30